Iranian Food Science and Technology
Research Journal
Vol. 16, No. 5, Dec- Jan 2021, p. 655-667

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد 16، شماره 5، آذر - دی 1399، ص. 667-655

مقاله علمی - پژوهشی

توسعه مدل پیشگو به‌منظور تعیین سفتی میوه "به" به کمک برنامه‌نویسی ژنتیک و شبکه عصبی در خلال انبارمانی

شیما نصیری[1]- سامان آبدانان مهدی‌زاده [2]*- مختار حیدری[3]

تاریخ دریافت: 1398/06/12
تاریخ پذیرش: 1398/08/04

چکیده

استحکام محصولات یکی از عوامل مهم و تاثیرگذار در میزان بازارپسندی و همچنین تعیین کیفیت میوه‌ها به‌خصوص "به" می‌باشد. لذا در پژوهش حاضر پس از تعیین مجموعه‌ای از تغییرات فیزیکی و شیمیایی میوه، پاسخ صوتی آن طی مدت زمان 4 ماه (هر 15 روز یک بار) مورد بررسی قرار گرفت. به‌منظور تعیین سفتی میوه به‌صورت غیرمخرب چهار ویژگی (پیک آکوستیک، حداکثر فشار آکوستیک، میانگین فشار آکوستیک و فرکانس طبیعی) استخراج و با استفاده از برنامه‌نویسی ژنتیک و شبکه عصبی مدل‌سازی انجام و با مدل‌های موجود (FI و SIQ-FT) مقایسه گردید. در این مطالعه نشان داده شد که مدل‌سازی به روش برنامه‌نویسی ژنتیک و شبکه عصبی با ضریب همبستگی به‌ترتیب 0/9567 و 0/933 دارای عملکردی مطلوب‌تری در پیش‌بینی مقدار سفتی محصول "به" نسبت به مدل‌های موجود FI و SIQ-FT با ضریب همبستگی به‌ترتیب 0/601 و 0/754 دارند.

واژه‌های کلیدی: برنامه نویسی ژنتیک، شبکه عصبی، به، انبارمانی، سفتی.

مقدمه

میوه "به" (*Cydonia oblonga*) یا بهی دارای گوشت خشک و کرکی است که طعمی ترش و تقریبا گس دارد. "به" سرشار از ویتامین‌های آ، ب و املاح آهکی می‌باشد. مصرف میوه به سبب تقویت اعمال دستگاه گوارش، مخاط و همچین کاهش سرفه می‌شود. "به " در جاهای دیگر دنیا از جمله آفریقا، مرکز اروپا و خاورمیانه نیز کشت و برداشت می‌شود ولی در حدود 75 در صد آن از ایران تامین می شود (Ornes piero *et al*., 2006). طبق آمار جهانی سطح زیر کشت و برداشت این میوه در ایران در سال 2017 به‌ترتیب 11278/3 هکتار و 5419 کیلوگرم بر هکتار گزارش شده است؛ در نتیجه تعیین کیفیت آن به‌صورت غیرمخرب به‌منظور افزایش صادرات، حفظ مشتریان بین‌المللی و افزایش درآمد تولیدکنندگان این محصول مهم و کارآمد می‌باشد (بی‌نام، 1395).

مطالعات متفاوتی برای ارزیابی کیفیت درونی میوه‌ها و محصولات غذایی صورت پذیرفته است که از آن جمله می‌توان به ارزیابی پاسخ ارتعاشی هندوانه برای بررسی کیفیت بافت گوشت آن اشاره نمود. در پژوهش مذکور از مدل رگرسیونی جهت پیش‌بینی کیفیت گوشت هندوانه انجام شد. نتایج حاصل نشان دادند که عملکرد مدل رگرسیون چندگانه در طیف فاز بهتر از مدل‌های دیگر بود و همچنین ضرایب رگر سیون مدل‌های کالیبرا سیون و اعتبار سنجی به‌ترتیب 0/9998 و 0/9986 به‌دست آمدند (Abbaszadeh *et al*., 2013). در پژوهش دیگر از روش پاسخ ضربه آکوستیک برای مدل‌سازی کیفیت هندوانه استفاده شد، بر اساس نتایج همبستگی معنی‌داری بین استحکام و شاخص سفتی با استفاده از مدل رگر سیون خطی و مدل غیرخطی شبکه عصبی مصنوعی به‌دست آمد (Mao *et al*., 2016). Costa و همکاران (2011) نیز از ترکیب روش آکوستیکی و مکانیکی در ارزیابی میوه سیب بهره جستند. نتایج به‌دست آمده از این آزمایش نشان‌دهنده همبستگی مناسبی ($R^2 \geq 0/6$) بین ترکیب ویژگی‌های مکانیکی با آکوستیکی در اندازه‌گیری سفتی سیب با آزمون‌های حسی بود. Laura Corollaro و همکاران (2014) یک روش ترکیبی

1-دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مکانیک بیوسیستم، دانشکده مهندسی زراعی و عمران روستایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان.
2- استادیار، گروه مکانیک بیوسیستم، دانشکده مهندسی زراعی و عمران روستایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان.
3- دانشیار، گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده علوم و مهندسی باغبانی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان.
(*- نویسنده مسئول: Email: saman.abdanan@gmail.com)
DOI: 10.22067/ifstrj.v16i5.82809

حسی- ابزاری به‌منظور بررسی روند تغییرات کیفیت[1] سیب براساس تکنیک‌های حسی را ارائه کردند. بدین منظور همبستگی بین داده‌های حسی و ابزاری مورد بررسی قرار گرفت و مدل‌های مناسب برای پیش‌بینی خواص حسی از طریق اندازه‌گیری‌های ابزاری تعیین شدند. بر اساس نتایج به‌دست آمده مدل پیش‌بینی شده برای تمامی ویژگی‌های حسی، به‌جز میوه‌های با مغز سبز رنگ و سفت، همبستگی بالایی داشت ($R^2 \geq 0/8$).

به منظور توسعه مدل‌های ریاضی و پیشگو کیفیت محصولات و سامانه‌های کشاورزی روش‌های مختلفی توسعه یافته است که از آن جمله می‌توان به شبکه عصبی مصنوعی (Thendral & Suhasini, 2017)، رگرسیون چندگانه (امرایی و همکاران، 1395)، رگرسیونی فازی (Naganur *et al*., 2012) و برنامه نویسی ژنتیک (Nadafzadeh *et al*., 2018) اشاره نمود. Javadikia و همکاران (2018) از سیستم بینایی کامپیوتری ترکیبی اتوماتیک و غیرقابل نفوذ برای ارزیابی ضخامت پوست در پرتقال تامسون استفاده کردند. در این پژوهش از روش‌های برنامه نویسی ژنتیک، شبکه عصبی مصنوعی، بهینه‌سازی ذرات برای تجزیه و تحلیل آماری پارامترهای الگوریتم استفاده شد. در پژوهشی جهت برآورد میزان دو آنزیم PPO و POD موز، از پردازش تصاویر دیجیتالی و آنالیز رگرسیونی چندگانه در طول دوره انبارمانی استفاده گردید (سلطانی کاظمی و همکاران، 1397). در این تحقیق نشان داده شد که ویژگی‌های فرکتالی FDavg و FDlac از توانایی بیشتری نسبت به ویژگی‌های رنگی جهت پیشگویی آنزیم‌های POD و PPO با ضریب رگرسیون به‌ترتیب 0/903 و 0/896 برخوردار هستند.

استحکام یکی از عوامل مهم در تعیین کیفیت میوه‌ها به‌خصوص "به" می‌باشد. بیشتر مصرف کنندگان کیفیت میوه "به" را با توجه به رنگ و سفتی آن ارزیابی می‌کنند. به‌همین منظور در این پژوهش مدل‌های هوشمندی جهت پیش‌بینی سفتی میوه "به" در مدت انبارمانی، توسعه داده می‌شود.

مواد و روش‌ها

میوه‌های "به" رقم اصفهان، مورد استفاده در این پژوهش از یک باغ تجاری واقع در حومه شهر اصفهان در اواخر مهر ماه (181 روز پس از گلدهی کامل درختان) تهیه و با رعایت اصول جابه‌جایی، در کمتر از 24 ساعت به آزمایشگاه فیزیولوژی گیاهان باغی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان انتقال داده شد. در انتخاب نمونه‌ها سعی گردید تا میوه‌ها از نظر شکل و اندازه یکسان باشند. بر همین اساس ابعاد نمونه‌ها (سه قطر عمود بر هم) با کولیس دیجیتالی اندازه‌گیری و ثبت شد. نمونه‌ها درون جعبه قرار گرفتند و در کیسه‌های نایلونی استریل، بسته‌بندی شده و به انبار با دمای 4 درجه سلسیوس رطوبت نسبی 1±4 درصد به مدت 4 ماه نگهداری شدند. نمونه‌برداری هر 15 روز یکبار انجام پذیرفت (اکبری بیشه و همکاران، 1393).

روش پاسخ ضربه آکوستیک

به‌منظور اندازه‌گیری پاسخ آکوستیکی حاصل از ضربه به میوه، نمونه‌ها در پایه تکیه‌گاهی پوشیده شده با فوم لاستیکی قرار گرفتند. برای ثبت صدا، میکروفن در فاصله 5 سانتی‌متری از میوه در قسمت کناری محل اعمال ضربه نصب گردید؛ اعمال ضربه به‌وسیله توپ پلاستیکی به جرم 9/2 گرم صورت پذیرفت. فرکانس داده‌برداری 32000 هرتز و به‌صورت تک‌باند به مدت 50 میلی‌ثانیه در نظر گرفته شد. پس از فیلتر کردن سیگنال و حذف نویز، به‌منظور استخراج فرکانس طبیعی از صدای ضبط شده تبدیل فوریه آن‌ها محاسبه و طیف فرکانس حاصل از بزرگترین فرکانس رزونانس انتخاب گردید (Chen *et al*., 1992). اندازه‌گیری در سه نقطه در ناحیه استوایی میوه (جنوب، شرق و غرب) در سه سرعت مختلف ضربه‌زن (0/3، 0/6 و 0/9 m/s) انجام پذیرفت (Gomez *et al*., 2005). علاوه بر فرکانس طبیعی ویژگی‌های جدول 1 نیز محاسبه گردیدند (Costa *et al*., 2011).

آزمون‌های مورد نظر در خلال انبارمانی

جرم و جرم حجمی میوه

جرم نمونه‌های "به" با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت 0/01 گرم اندازه‌گیری شد. جرم حجمی نمونه‌ها نیز توسط روش جابه‌جایی آب محاسبه گردیدند؛ در این روش حجم محصول از تقسیم نیروی شناوری (جرم آب جابه‌جاشده) بر دانسیته آب به‌دست آمد:

$$V = \frac{M_{dw}}{\rho_w} \qquad (1)$$

اندازه‌گیری‌های شیمیایی

غلظت مواد محلول جامد و اسیدیته بر روی عصاره استخراج شده از طریق تراکم میوه اندازه‌گیری گردید. جهت تعیین میزان مواد جامد محلول از عصاره استخراج شده، از دستگاه رفراکتومتردیجیتالی (MA882، ژاپن) استفاده شد (سلطانی کاظمی و همکاران، 1396a). تعیین pH عصاره میوه با استفاده از pHسنج (P-755 قابل حمل، ژاپن) انجام گردید. بدین منظور، ابتدا pH متر با استفاده از محلول بافر چهار و هفت تنظیم گردید سپس آبمیوه در بشر ریخته و الکترود pHمتر را در محلول قرار داده و پس از ثابت شدن عدد، pH آبمیوه یادداشت گردید (سلطانی کاظمی و همکاران، 1396b). اندازه‌گیری ویتامین‌ث به

1 Quality profiling

روش تیتراسیون با سولفات مس براساس روش پیشنهادی برکات و همکاران (1972) انجام پذیرفت. در این روش، به 5 میلی‌لیتر از آب میوه، 10 میلی‌لیتر یدورپتاسیم 5% اضافه گردید. سپس 3 قطره محلول نشاسته 1% اضافه شده و تیتراسیون با استفاده از سولفات مس 1% مولار تا ظهور اولین علائم رنگ قرمز جگری ثابت ادامه یافت. حجم سولفات مس مصرفی یادداشت و با استفاده از رابطه 2 میزان ویتامین ث محاسبه شد.

ویتامین ث= 0/88 ×حجم سولفات مس مصرفی (2)

جدول 1- ویژگی‌های استخراجی مورد نظر از پاسخ آکوستیکی

پارامترها	توصیف کلی	واحد
پیک آکوستیک	تعداد پیک‌های آکوستیک تا 50% بزرگترین پیک	-
حداکثر فشار آکوستیک	یافتن بالاترین پیک آکوستیک در موج فشار صوت	dB
میانگین فشار آکوستیک	میانگین ارزش بالاترین فشار صوت ثبت شده از نمودار آکوستیک	dB

آزمون نفوذ

به‌منظور بررسی سفتی، نمونه‌ها از نقطه محل اعمال ضربه به‌وسیله دستگاه آزمون ماده (سنتام، STM-20، ایران) تحت آزمون نفوذ قرار گرفتند. بدین منظور از یک پروب به قطر 8 میلی‌متر با سرعت حرکت پروب 20 میلی‌متر بر دقیقه استفاده شد. حداکثر عمق نفوذ 10 میلی‌متر در نظر گرفته شد. حداکثر نیروی نفوذ به‌عنوان سفتی نمونه مورد استفاده قرار گرفت. به‌علاوه قبل از آزمون، پوست میوه‌ها در محل ایجاد سوراخ، با چاقوی تیز برداشته شد (Tamure and Teryaki, 2012).

مدل‌سازی ریاضی سفتی و ضریب الاستیسیته میوه

در این پژوهش از سه روش به منظور پیش‌بینی سفتی و تعیین مدول الاستیسیته محصول استفاده شده است: 1) مدل‌های ریاضی موجود، 2) توسعه مدل به‌وسیله برنامه نویسی ژنتیک و 3) شبکه عصبی. نهایتا 3 روش با یکدیگر مقایسه و بهترین روش پیشنهاد شد.

مدل‌های ریاضی موجود

در این روش فرکانس طبیعی میوه‌ها از روی نمودارهای فرکانس-دامنه به‌دست می‌آید. برای این منظور از اولین فرکانس با بزرگترین دامنه استفاده گردید. این فرکانس با عنوان فرکانس طبیعی یا غالب برای میوه مورد آزمون ثبت شد. برای تعیین سایر پارامترهای صوتی از رابطه‌های (3) و (4) استفاده گردید (Gomez *et al*., 2005).

$$FI = f^2 m^{\frac{2}{3}} \quad (3)$$

$$EI = f^2 m^{\frac{2}{3}} \rho^{\frac{1}{3}} \quad (4)$$

در اینجا FI شاخص سفتی ($kg^{2/3} s^{-2}$)، EI ضریب الاستیسیته (Pa)، f فرکانس طبیعی (هرتز)، ρ جرم حجمی میوه (kg/m^3) و m جرم میوه (کیلوگرم) است.

در پژوهشی دیگر سفتی به‌عنوان معیار "SIQ-FT" بیان شده است؛ در این روش اساس اندازه‌گیری پاسخ دینامیکی بافت میوه در اثر اعمال ضربه است و توسط رابطه (5) قابل محاسبه است (Schmulevich *et al*., 2003).

$$SIQ - FT = C \left[\frac{P_{max}}{\int p(t)dt} \right]^2 \quad (5)$$

که در این رابطه C ثابت سیستم، p دامنه اوج پاسخ ضربه و p(t) پاسخ ضربه به‌عنوان یک تابع از زمان است.

توسعه مدل به‌وسیله برنامه‌نویسی ژنتیک

اساس جستجو و توسعه روش برنامه‌نویسی ژنتیک (GP)، الگوریتم ژنتیک (GA) است. در این روش با در نظر گرفتن پارامترهای موثر در پدیده فیزیکی مورد بررسی، مدل‌سازی ریاضی و همچنین بهینه‌سازی ضرایب مدل توسعه یافته به‌طور همزمان انجام می‌شود (Muttil Gp and Lee, 2005). برای ایجاد یک مدل پیش‌بینی معتبر با استفاده از GP، مجموعه‌ای از اطلاعات از قبیل اندازه جمعیت اولیه، نرخ جهش متقابل و همچنین تابع برآزش تعیین می‌شوند (Muttil and Lee, 2005). GA یک الگوریتم براساس جمعیت است؛ در نتیجه، در هر مرحله از این روش مدل‌سازی، راه‌حل‌های توسعه یافته در GP با استفاده از GA، بهینه و مدل‌های غیرخطی ریاضی با استفاده از GP براساس ویژگی‌های مخرب و غیرمخرب، طراحی و توسعه می‌یابند. در این پژوهش برای انجام مدل‌سازی توسط GA، ابتدا جمعیت اولیه، حداکثر عمق و حد عمق پویا[1] به‌ترتیب 500، 17 و 6 انتخاب شدند

1 Depth limit and dynamic limit

(Nadafzadeh *et al.*, 2018). در نهایت، به وسیله روش تقاطع یک نقطه‌ای اطلاعات از دو عضو (در گره)، اطلاعات جدید ایجاد گردید. در این پژوهش نرخ تقاطع و جهش (به‌منظور تغییر تصادفی علائم ریاضی) به‌ترتیب 1و 0/01 در نظر گرفته شد. توابع ریاضی مورد استفاده ×، ÷، +، - و ^ انتخاب شدند (Abdollah zare and Abdanan Mehdizade، 2018). تابع هدف کمینه RMSE برای مدل پیشگو در طول مرحله آموزشی برای تکامل مدل GP مورد استفاده قرار گرفت. بعلاوه دو -سوم از نمونه‌ها برای توسعه مدل‌ها و یک -سوم برای آزمایش مدل‌های توسعه یافته استفاده شدند. در واقع، به‌منظور ارزیابی مدل‌های طراحی شده، بعد از توسعه مدل‌ها، نمونه‌های دیده‌نشده توسط مدل به‌صورت تصادفی انتخاب شدند و سپس مدل‌ها با استفاده از این داده‌ها آزمایش گردیدند. خروجی مدل طراحی شده در قالب یک گراف درختی ارائه گردید؛ این گراف درختی شامل مجموعه‌ای از نقاط انتهایی (متغیرهای مساله) و گره‌ها (علائم ریاضی) است که بر این اساس نمودار روابط به‌دست آمد (Zhao *et al.*, 2004). لازم به ذکر است که در این پژوهش بعد از استخراج روابط، سفتی نمونه‌ها (FI) براساس پارامترهای استخراج شده از صدا محاسبه شد.

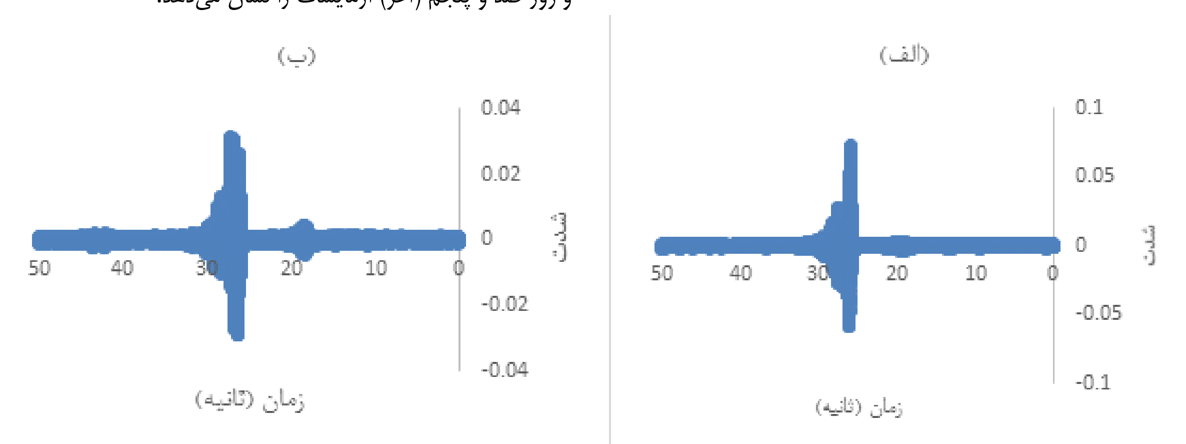
مدل‌سازی شبکه عصبی

به‌منظور پیش‌بینی سفتی از مدل شبکه عصبی سه لایه و قاعده یادگیری لوومبرگ-مارکوت[1] استفاده شد. برای آموزش، ابتدا داده‌ها به‌طور تصادفی به دو قسمت تقسیم شدند به‌طوری‌که دو- سوم داده‌ها برای آموزش، یک-سوم آن‌ها برای آزمون شبکه مورد استفاده قرار گرفتند. تابع انتقال میان ورودی و لایه میانی تانژانت-سیگموئید و میان خروجی با لایه میانی خطی انتخاب گردید (Nadafzadeh *et al.*, 2018). مقدار خطای متوسط آموزش برای شبکه تابع پرسپترون چندلایه با الگوریتم پس انتشار خطا و با ساختار مختلف مورد آنالیز آماری در سطح احتمال 5% قرار گرفت و بهینه ساختار شبکه انتخاب شد. ورودی مدل پارامترهای غیرمخرب صدا و خروجی آن سفتی در نظر گرفته شدند.

نتایج و بحث

پردازش سیگنال

شکل (1-الف) و (1-ب) نمونه‌ای از سیگنال اخذ شده توسط سامانه توسعه یافته بعد از حذف نویز با فیلتر گوسی به‌ترتیب در روزهای اول و روز صد و پنجم (آخر) آزمایشات را نشان می‌دهد.



شکل 1- نمونه‌ای از صدای اخذ شده از میوه الف) روز اول و ب) روز صد و پنجم

همانطور که در شکل 1 مشاهده می‌شود در لحظه برخورد شدت صدا دارای مقدار ماکزیمم بوده است. اما در روز اول (شکل (1-الف)) میزان شدت صوت حاصل از ضربه نسبت به روز آخر (شکل (1-ب)) مقدار بیشتری را نشان می‌دهد؛ این مساله حاکی از وجود سفتی بیشتر نمونه‌ها می‌با شد. این سفتی به مرور زمان و با افزایش دوره انبارمانی کاهش یافته که نتیجه این کاهش، مستهلک شدن انرژی صدا توسط بافت داخلی و کاهش شدت صدای منعکس شده است.

بررسی تغییرات پارامترهای مخرب

در این پژوهش به‌منظور بررسی اختلاف معنی‌داری میان پارامترهای مخرب و غیرمخرب آزمون مقایسه میانگین چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال 5% انجام پذیرفت (جدول‌های 2 و 3). بر اساس جدول 2 (ویژگی‌های صدا) مقادیر به‌دست آمده برای پیک آکوستیک در روز اول 54/81 می‌باشد که نسبت به روز پانزده و سیام اختلاف معنی‌داری نداشته است. اما از روز چهل و پنجم به بعد در این ویژگی

1 Leven Berg-Marguardt

یک روند کاهشی معنی‌داری در سطح احتمال 5% مشاهده شد که این روند تا روز صـــد و پنجم ادامه یافت به‌طوری که در روز صـــد و پنجم مقدار آن به 40/18 رسید. در پژوهشی که توسط Costa و همکاران (2011) صـورت پذیرفت مشـخص شـد که میان پیک آکوسـتیک و سفتی ارتباط کاهشی معنی‌داری وجود دارد که مشابه پژوهش حاضر می‌باشد. مقادیر به‌دست آمده برای ویژگی حداکثر فشار آکوستیک در روز اول 23/37- بود. برای این ویژگی روند تقریبا کاهشـــی ثابت غیرمعنی‌داری بین روزهای مختلف مشـاهده شـد. در ویژگی میانگین فشار آکوستیک علارغم روند کاهشی در هیچ یک از روزهای آزمایش اختلاف معنی‌دار مشـــاهده نگردید ($p>0/05$). نهایتا ویژگی فرکانس طبیعی روند کاهش معنی‌داری ($p<0/05$) داشت به‌طوری که مقدار آن در روز اول و صـد و پنجم به‌ترتیب 177/37 و 119/08 به‌دسـت آمد. در کنار این روند کاهشی میان روزهای اول تا سی‌ام اختلاف معنی‌دار وجود نداشــته اســت و از روز ســی‌ام تا صــد و پنجم نیز این اختلاف معنی‌دار دیده نشد. در این راستا در پژوهشی بیاتی و همکاران (1395) تاثیر انبارمانی را با روش‌های صوتی و نفوذسنجی بر میوه سیب گلاب ارزیابی کردند. بر اســـاس نتایج این تحقیق پارامترهای صـــوتی و نفوذسنجی (فرکانس طبیعی، شاخص سفتی و ضریب الاستیسیته) در طی دوره انبارمانی کاهش داشتند.

جدول 2- مقایسه میانگین مربوط به پارامترهای صدا در خلال انبارمانی

تیمار (روز)	صفات			
	پیک آکوستیک	حداکثر فشار آکوستیک	میانگین فشار آکوستیک	فرکانس طبیعی
1	54/8069^{a}	-23/3745^{a}	22/089^{a}	177/37^{a}
15	53/4597^{a}	-23/4611^{a}	21/511^{a}	155/12^{ab}
30	53/2672^{a}	-23/6294^{a}	19/644^{a}	150/36^{ab}
45	43/3513^{b}	-24/1146^{ab}	18/400^{a}	137^{b}
60	42/9815^{bc}	-24/4629^{ab}	17/222^{a}	136/12^{b}
75	42/5078^{bc}	-24/4837^{ab}	16/511^{a}	131/66^{b}
90	41/4239^{cd}	-24/7219^{ab}	16/489^{a}	122/57^{b}
105	40/1814^{d}	-25/4002^{b}	15/511^{a}	119/08^{b}

حروف غیرمشترک نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح احتمال 0/05می‌باشند.

جدول 3- مقایسه میانگین مربوط به آزمون‌های فیزیکی و شیمیایی در خلال انبارمانی

تیمار (روز)	صفات										
	حجم (m^3)	چگالی (g/m^3)	TSS	pH	اسیدیته	ویتامین ث	وزن ماده خشک (g)	وزن (g)	قطر کوچک (mm)	قطر بزرگ (mm)	سفتی (N)
۱	۲۰۳×۱۰^{3a}	۰/۰۰۶۸۹۸۵^{a}	۱۴/۲۹۳۳^{a}	۴/۸۰۶۰۰^{a}	۱^{a}	۱/۷۴۶۷^{a}	۲۱/۸۰۴۰^{a}	۳۰۱/۴۹۶^{a}	۸۶/۱۰۲^{a}	۳۰۱/۵۰^{a}	۶/۵^{a}
۱۵	۱۹۲۲۰۰^{ab}	۰/۰۰۶۴۲۰۰^{ab}	۱۴/۱۳۳۳^{a}	۴/۷۳۸۰۰^{ab}	۰/۸۹۳۳۳^{ab}	۱/۶۷۳۳^{a}	۲۱/۶۶۴۰^{a}	۲۸۱/۱۷۴^{b}	۸۵/۶۶۴^{a}	۲۸۱/۱۷^{ab}	۶/۳۶^{ab}
۳۰	۱۸۳۶۰۰^{abc}	۰/۰۰۶۲۵۷۷^{ab}	۱۴/۱۲۶۷^{a}	۴/۷۳۲۶۷^{ab}	۰/۸۹۳۳۳^{ab}	۱/۶۲^{ab}	۲۰/۶۳۲۷^{ab}	۲۶۹/۴۶۹^{bc}	۸۳/۸۵۴^{ab}	۲۶۶/۸۱^{b}	۶/۲۸۶۷^{abc}
٤۵	۱۸۳۱۳۰^{abc}	۰/۰۰۶۱۴۳۷^{abc}	۱۳/۶۲^{ab}	۴/۶۶۶۶۷^{b}	۰/۸۸^{ab}	۱/۶۱۳۳^{ab}	۱۹/۷۸۲۰^{bc}	۲۶۶/۸۰۹^{bc}	۸۲/۷۶۲^{bc}	۲۶۵/۱۷^{b}	۶/۰۸۶۷^{abc}
٦۰	۱۷۱۹۳۰^{bcd}	۰/۰۰۵۹۱۷۵^{bc}	۱۲/۹۳۳۳^{bc}	۴/۶۵۸۰۰^{b}	۰/۷۶^{bc}	۱/۵۲^{abc}	۱۹/۷۶۸۷^{bc}	۲۶۵/۱۶۷^{bc}	۸۱/۳۴۵^{cd}	۲۶۳/۹۰^{b}	۵/۹۴۶۷^{abc}
۷۵	۱۶۹۲۷۰^{bcd}	۰/۰۰۵۶۲۷۷^{bc}	۱۲/۸۲^{bc}	۴/۶۱۹۳۳^{b}	۰/۷۴^{c}	۱/۴۰۶۷^{bc}	۱۹/۶۹۲۰^{bc}	۲۶۳/۸۹۹^{bc}	۸۱/۲۷۵^{cd}	۲۶۱/۵۹^{b}	۵/۴۸۶۷^{bc}
۹۰	۱۶۷۶۷۰^{cd}	۰/۰۰۵۳۳۳۳^{c}	۱۲/۷۹۳۳^{bc}	۴/۴۷۱۳۳^{c}	۰/۷۳۳۳۳^{c}	۱/۳۲۶۷^{c}	۱۹/۶۵۰۷^{cd}	۲۶۱/۵۸۷^{bc}	۸۰/۶۱۶^{cd}	۱۹۵/۴۴^{c}	۵/۴۲^{bc}
۱۰۵	۱۵۵۴۷۰^{d}	۰/۰۰۵۳۱۹۲^{c}	۱۲/۶۶^{c}	۴/۲۰۳۳۳^{d}	۰/۷۰۶۶۷^{c}	۱/۳^{c}	۱۸/۴۷۲۰^{c}	۲۵۰/۲۴۳^{c}	۸۰/۱۳۸^{d}	۱۳۳/۸۶^{d}	۵/۳۰۶۷^{c}

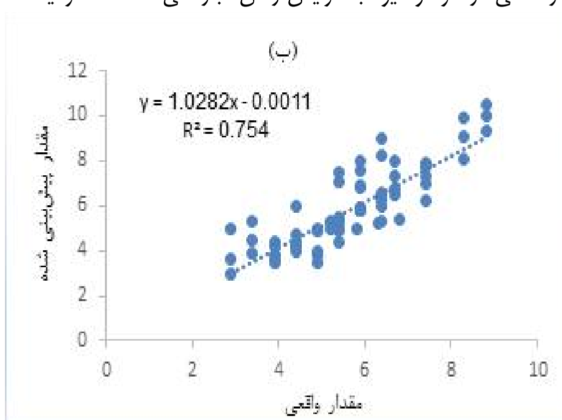
حروف غیر مشترک نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح احتمال 0/05 است.

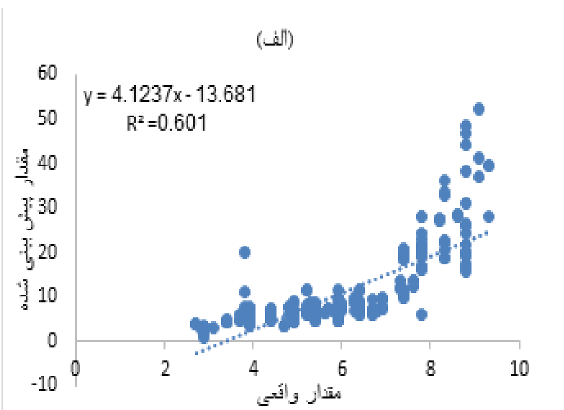
جدول 3 آنالیز آماری مربوط به آزمون مخرب را نشـــان می‌دهد. مقادیر حاصـله برای حجم نمونه‌ها روند کاهشـی و معنی‌دار در سـطح احتمال 5 درصـد داشـت؛ به‌طوری که در روز اول مقدار حجم نمونه‌ها 203×10^3 میلی‌متر مکعب مشـــاهده گردید و با گذشـــت روزهای انبارمانی کاهش یافت و در نهایت در روز صـــد و پنجم به 155470 میلی‌متر مکعب رسید. همچنین این روند کاهشی معنی‌دار برای چگالی

نیز صادق بوده است؛ به‌گونه‌ای که میان روز اول آزمایش با روز شصت تا صد و پنجم اختلاف معنی‌داری دیده شد (p<0/05) مقادیر TSS، pH، اسیدیته و ویتامین ث نیز روند کاهشی را دنبال کرده‌اند و میان روز اول آزمایش با روز نهایی آن اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال 5% مشاهده گردید که نشان از کاهش کیفیت نمونه‌ها است. هادیان دلجو و ساری خانی (1391) در پژوهشی اثر سالیسیلیک اسید را بر حفظ کیفیت پس از برداشت میوه سیب رقم "گلاب کهنز" بررسی کردند. در این پژوهش روندی نزولی برای مقدار اسیدیته و TSS مشاهده شد. در صورتی که روندی افزایشی برای مقدار pH مشاهده کردند که علت این روند را شکسته شدن و تجزیه اسیدهای آلی در فرآیند تنفس به دلیل وجود اسید سالیسیلیک دانستند. بر اساس اندازه‌گیری‌های صورت گرفته وزن نمونه‌ها در روز اول و صد و پنجم به‌ترتیب 301/496 و 250/243 گرم بوده که نشان‌دهنده اختلاف قابل توجه میان این روزها می‌باشد (p<0/05). همچنین مقادیر قطر بزرگ و قطر کوچک به مرور زمان از روز اول به‌ترتیب از 301/50 و 86/102 میلی‌متر به 133/86 و 80/138 میلی‌متر در روز آخر انبارمانی کاهش داشته‌اند. در بررسی سفتی در روز نخست مقدار 6/5 نیوتن مشاهده شد که این مقدار با گذشت دوره انبارمانی به‌صورت معنی‌داری کاهش داشت به‌طوری که در روز آخر انبارمانی به 5/3067 نیوتن رسید. Scotte و همکاران (1999) و بیاتی و همکاران (1395) به‌ترتیب استحکام میوه گوجه فرنگی و سیب گلاب را با استفاده از تکنیک پاسخ آکوستیک ارزیابی کردند. در این پژوهش‌ها روندی نزولی برای مقدار سفتی در هر دو میوه با افزایش زمان انبارمانی مشاهده گردید.

مدل‌سازی ریاضی سفتی میوه

در مقالات متعدد از دو رابطه مرسوم برای به‌دست آوردن ارتباط بین فرکانس رزونانس و جرم (رابطه 3) و اثر صدای حاصل از برخورد (رابطه 5) استفاده شده است. در این پژوهش برای مقایسه نتایج به‌دست آمده از این روابط از مدل‌سازی الگوریتم ژنتیک و شبکه عصبی، استفاده شد. مقدار رگرسیون به‌دست آمده بین مقادیر واقعی و مقادیر پیش‌بینی شده برای رابطه رزونانس و جرم (رابطه 3) و اثر صدای حاصل از برخورد (رابطه 5) به‌ترتیب R^2= 0/601 (شکل 2- الف) و R^2= 0/754 به‌دست آمد (شکل 2- ب). در رابطه 5 یک پارامتر ثابت (C) جهت تنظیم کردن مقادیر به‌دست آمده وجود دارد. در این پژوهش با استفاده از روش سعی و خطا این مقدار ثابت، 150 به‌دست آمده است. علت بیشتر بودن ضریب تعیین در رابطه 5 نسبت به رابطه 4 نیز وجود همین پارامتر می باشد. دکتلار و همکاران (2006)، از رابطه 3 برای بررسی استحکام بعد از رسیدن میوه سیب به‌وسیله آنالیز صدای حاصل از ضربه با جرم کوچک استفاده کردند. در پژوهش انجام شده توسط آنها رابطه نسبتا خطی (r=0/88) با سفتی به‌دست آمد. همچنین این پژوهشگران در همان سال برای ارزیابی کیفیت سیب و گوجه‌فرنگی از رابطه 5 استفاده کردند. بر اساس نتایج به‌دست آمده رابطه SIQ-FT توانست سفتی را برای سیب و گوجه‌فرنگی با مقدار r= 0/44 و p<0/001 پیش‌بینی کند.

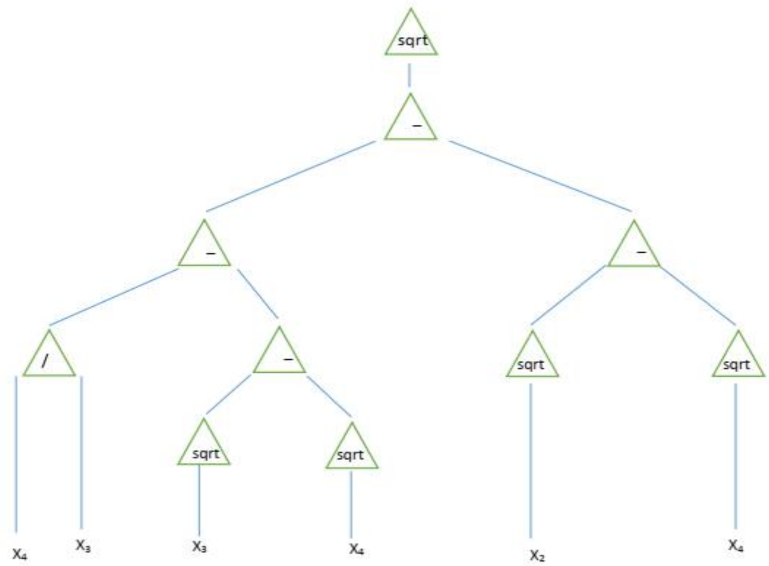




شکل 2- نمودار پراکندگی بین مقادیر واقعی و مقادیر پیش‌بینی شده الف) رابطه 3 و ب) رابطه 5 برای سفتی

توسعه مدل به‌وسیله برنامه‌نویسی ژنتیک

در پژوهش حاضر مدل‌های غیرخطی ریاضی با استفاده از Gp به‌منظور پیش‌بینی سفتی میوه به براساس ویژگی‌های غیرمخرب حاصل از ضربه توسعه و بهترین مدل با کمترین خطا انتخاب گردید. خروجی این مدل طراحی شده در قالب یک گراف درختی ارائه شده است (شکل 3).

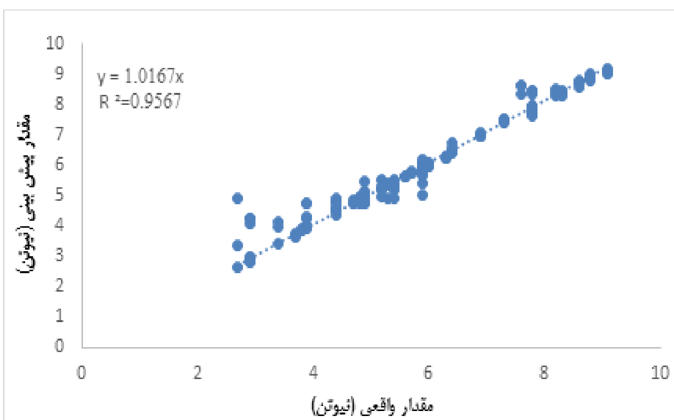


شکل 3- نمودار درختی رابطه ریاضی توسعه یافته توسط GP

این گراف درختی شـــامل مجموعه‌ای از نقاط انتهایی (متغیرهای مســـاله) و گره‌ها (علائم ریاضـــی) اســـت. در این معادله x_1 پیک آکوستیک ، x_2 حداکثر فشار آکوستیک، x_3 میانگین فشار آکوستیک و x_4 فرکانس طبیعی می باشـــد. در این گراف درختی مقدار x_1 (پیک آکوسـتیک) وارد نشـده اسـت و به‌عنوان ورودی در نظر گرفته نشـده است. رابطه به‌دست آمده توسط GP به‌صورت زیر می‌باشد (رابطه 6):

$$Gp = 1.3 \times \sqrt{(x_4 / x_3) - \sqrt{x_3} - \sqrt{x_2} + 2\sqrt{x_4}} \qquad (6)$$

در ادامه، عملکرد مدل طراحی شده در مقایسه با مقدار به‌دست آمده توسط دستگاه آزمون مواد ترسیم گردید (شکل 4). همانطور که در شکل مشخص است 95 درصد تغییرات متغییر وابسته (مقادیر واقعی سفتی) توسط مدل توسعه یافته به‌وسیله GP پوشش داده می‌شود. Xiaobo و همکاران (2007) از روش مرتب‌سازی ویژگی‌ها[1] (OFP) و الگوریتم ژنتیک برای ارزیابی مجموعه‌ای از سیب‌ها در چهار گروه مختلف بر اساس کیفیت استفاده کردند. این محققان نشان دادند که دقت روش OFP نسبت به روش شبکه عصبی مصنوعی دقیق‌تر بوده ولی نسبت به روش رگرسیون بردار ماشین پشتیبان عملکرد ضعیف‌تری دارد.



شکل 4- نتایج مقادیر پیش‌بینی شده در روش GP در مقابل مقادیر واقعی سفتی

1 Organization Feature Parameter

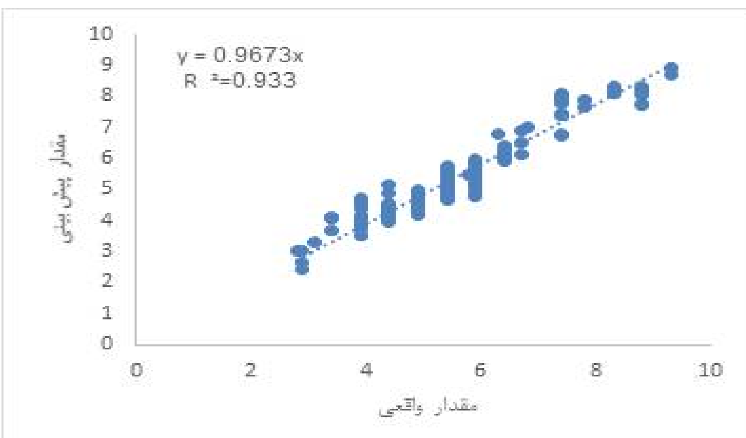
مدل‌سازی شبکه عصبی

به‌منظور تعیین تعداد نرون‌ها در لایه میانی خطای پیشگویی شبکه عصبی با افزایش تعداد نرون در لایه میانی از 3 تا 15 در 5 تکرار برای هر نرون مورد بررسی قرار گرفت. مطابق با شکل 5 خطای جذر میانگین مربعات با وجود 3 نرون در لایه میانی 1/77 گردید که این خطا با افزایش تعدا نرون‌ها به 8 عدد 0/38 و با 15 نرون 0/31 به‌دست آمد.

با توجه به اینکه خطای جذر میانگین مربعات آموزش برای شبکه پرسپترون با 8 نرون در لایه میانی اختلاف معنی‌داری با تعداد نرون‌های بیشتر در لایه میانی نداشت و در ضمن نسبت به تعداد نرون‌های قبلی خطای کمتری داشت، لذا این تعداد نرون به‌عنوان حالت بهینه در شبکه عصبی مورد استفاده قرار گرفت.



شکل 5- نمودار خطای آموزش تابع پرسپترون در پیش‌بینی سفتی نسبت به تعداد نرون‌ها در لایه میانی



شکل 6-توزیع پراکندگی بین مقادیر پیش‌بینی شده توسط شبکه عصبی و مقادیر واقعی برای سفتی

بعد از مرحله آموزش و تعیین تعداد نرون‌ها در لایه میانی مقدار سفتی توسط شبکه پیش‌بینی گردید. شکل 6 نمودار مقادیر پیش‌بینی شده نسبت به مقادیر به‌دست آمده از دستگاه آزمون مواد را نمایش داده است. همانطور که در شکل مشخص است یک رابطه خطی قوی با ضریب همبستگی 0/93 بین مقادیر واقعی با مقدار پیش‌بینی شده وجود دارد. Mao و همکاران (2016) استفاده از بهینه‌سازی دستگاه آکوستیک، روشی برای پیش‌بینی و مدل‌سازی کیفیت هندوانه ارائه دادند. آن‌ها همبستگی معنی‌داری بین استحکام و شاخص‌های سفتی با استفاده از مدل رگرسیون خطی و غیرخطی شبکه عصبی مشاهده کردند (r=0/695) و نتیجه گرفتند که مدل خطی مناسب‌تر از مدل غیرخطی با استفاده از ANN بوده که دلیل این امر تفاوت معنی‌دار ضرایب همبستگی بوده است.

به‌منظور مقایسه روش‌های فوق، جدول مقایسه دقت آن‌ها در تعیین سفتی محاسبه گردید (جدول 5). طبق نتایج به‌دست آمده، خطا در مرحله آموزش برای برنامه‌نویسی ژنتیک، شبکه عصبی، رابطه 1 و رابطه 2 به‌ترتیب 0/3693461، 0/4071746، 1/014365 و

0/90038524 و برای مرحله آزمون 0/3644833، 0/4311552، 1/014365 و 0/90077087 به‌دست آمد. با توجه به مقادیر به‌دست آمده بهترین روش برنامه‌نویسی ژنتیک و پس از آن روش شبکه عصبی بوده است که دارای قدرت بالاتری در پیش‌بینی میزان سفتی میوه به هستند.

جدول 5- مقایسه دقت معادلات توسعه داده شده به‌منظور تعیین سفتی

مدل	آموزش	آزمون	کل
شبکه عصبی	0/383	0/431	0/407
برنامه نویسی ژنتیک	0/374	0/364	0/369
$FI = f^2 m^{\frac{2}{3}}$	1/014	1/014	1/014
$SIQ-FT = C\left[\frac{P_{\max}}{\int p(t)dt}\right]^2$	0/891	0/901	0/900

در مطالعه‌ای Muttil و Lee (2005) از برنامه‌نویسی ژنتیک و شبکه عصبی برای پیشگویی زمان واقعی شکوفه دادن جلبک دریایی ساحلی استفاده کردند. در این مطالعه نشان دادند نتایج Gp با نتایج روش شبکه عصبی موافق بوده و در نهایت نتیجه گرفتند که تو ضیح نتایج با استفاده از معادلات تحلیلی توسعه یافته توسط روش Gp تسهیل می‌شود. Singh و همکاران (2006) خواص فیزیکی و مکانیکی پس از برداشت پوست میوه پرتقال را به کمک روابط رگر سیونی برر سی کردند. همبستگی بین هر دو روش نیز کمتر بوده (r=0/70). با استفاده از هر دو روش مشخص شد که مرتب‌سازی گوجه فرنگی د شوار بوده و باید در ا سرع وقت پس از بردا شت انجام شود.

نتیجه‌گیری

یکی از عوامل موثر و تاثیرگذار در میزان بازارپسندی میوه "به" سفتی آن می‌باشد. در این پژوهش ویژگی‌های صدا و آزمون‌های مخرب به‌منظور تعیین سفتی در مدت انبارمانی مورد ارزیابی قرار گرفت؛ سپس با استفاده از برنامه‌نویسی ژنتیک و شبکه عصبی مدل‌سازی صورت پذیرفت و نتایج حاصله با مدل‌های موجود (SQI-FT و FI) مقایسه شدند. بدین ترتیب با توجه به نتایج به‌دست آمده از مدل‌سازی و نتایج حاصل از همبستگی، مناسب‌ترین مدل در پیش‌بینی مقدار سفتی محصول "به" مدل‌سازی به روش برنامه‌نویسی ژنتیک و شبکه عصبی با ضریب همبستگی به‌ترتیب 0/9567 و 0/933 نسبت به دو مدل موجود (SQI-FT و FI) با ضریب همبستگی به‌ترتیب 0/601 و 0/754 معرفی شد.

تشکر و قدردانی

بدینوسیله نویسندگان از حمایت مالی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان قدردانی می‌نمایند.

منابع

اکبری بیشه، ح.، حسینی، آ.، کریمی، ن. (1393). تاثیر پرمنگنات پتاسیم و گرمادهی بر کیفیت و عمر انبارمانی میوه رقم به اصفهان. اولین همایش ملی فناوری‌های نوین.

امرایی، س.؛ آبدانان مهدی زاده، س. و سالاری. س. (1395) سامانه برآورد وزن جوجه‌های گوشتی به صورت جداگانه با استفاده از پردازش تصویر و آنالیز رگرسیون چندگانه، مهندسی بیوسیستم ایران، دوره 47، شماره 4، ص 615-623.

بیاتی، م. ر.، رجبی‌پور، ع.، مبلی، ح.، ایوانی، ا. و بدیعی، ف. (1395). ارزیابی انبارمانی سیب گلاب با روش‌های صوتی و نفوذسنجی. نشریه ماشین‌های کشاورزی. جلد 6، شماره 1، ص 188-200.

بی‌نام، آمارنامه کشاورزی کل کشور 1395. دفتر آمار و فناوری اطلاعات، معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی وزارت جهاد کشاورزی، نشریه شماره 2008668.

جهانگیری صالح، حسن بیگی، ابونجمی و لطفی. (2016). پیش‌بینی پاسخ آکوستیک، شاخص تردی و سفتی میوه خیار با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی. علوم و صنایع غذایی ایران، 14(63), 276-265.

سلطانی کاظمی، م.، آبدانان مهدی‌زاده، س. ، نداف‌زاده، م. (1396). برآورد میزان دو آنزیم PPO و POD موز با استفاده از پردازش تصاویر دیجیتالی و آنالیز رگرسیونی چندگانه در طول دوره انبارمانی. فناوری‌های نوین غذایی، 5(4)، 597-612.

سلطانی کاظمی، م. آبدانان مهدی‌زاده، س. حیدری، م. و فارغ، س. م. (1396a). پیش‌بینی تغییرات برخی از ویژگی‌های کیفی آب توت سیاه (*Morus alba Var nigra* L.) طی مراحل مختلف رسیدگی بر اساس آنالیز فرکتال و بینایی ماشین. نشریه پژوهش‌های علوم صنایع غذایی ایران، 5 (13)، 730-743.

سلطانی کاظمی، م.، آبدانان مهدی‌زاده، س.، حیدری، م.، و فارغ، س. م. (1396b). استخراج موثرترین طول موج‌های طیف آب‌میوه توت سیاه (*Morus alba Var nigra* L.)با استفاده از مدل های مختلف رگرسیون کمترین مربعات جزئی (PLSR). مجله علوم و صنایع غذایی ایران، 14(69)، 229-241.

هادیان دلجو، م. و ساری خانی، ح. (1391). ارزیابی اثر سالیسیلیک اسید بر حفظ کیفیت پس از برداشت میوه سیب رقم "گلاب کهنز" به زراعی کشاورزی. 14، 2، 1391، 71-82.

Abbaszadeh. R., Rajabipour. A., Mahjoob. M., Delshad M., Ahmadi. H. (2013). Evaluation of watermelon texture using their vibration responses. Sciverse ScienceDirect 115: 102-105.

Abdolahzare, Z., Abdanan Mehdizadeh, S. (2016). Nonlinear Mathematical Modeling of Seed Spacing Uniformity of a Pneumatic Planter using Genetic Programming and Image processing, Neural Computing and its application, 27(6), 1-13**.**

Chen, H., De Baerdemaeker, J., Vervaeke, F., (1992). Acoustic impulse response of apples for monitoring texture changes after harvest, Proceedings of the International Conference on Agricultural Engineering, October 1992, Beijing, China.

Costa. F., Cappellin. L., Longhi. S., Guerra. W., Magnago. P., Porro. D., Soukoulis. Ch., Salvi. S., Velasco. R., Biasioli. F., Gasperi. F. (2011). Assessment of apple (Malusa × domestica Borkh.) fruit texture by a combined acoustic-mechanical profiling strategy. *Postharvest Biology and Technology* 61: 21-28.

De Ketelaere, B., et al. (2006). "Postharvest firmness changes as measured by acoustic and low-mass impact devices: a comparison of techniques." *Postharvest Biology and Technology*. 41.3 275-284.

Gómez, A.H., Wang, J., Pereira, A.G., (2005). Impulse response of pear fruit and its relation to Magness-Taylor firmness during storage. *Postharvest Biology and Technology*, *35*(2), 209-215.

Javadikia1, H., Sabzi, S., I. Arribas, J., (2018). An automatic and non-intrusive hybrid computer vision system for the estimation of peel thickness in Thomson orange. *Spanish Journal of Agricultural Research* 16 (4), e0204, 15 pages. eISSN: 2171-9292.

Laura Corollaro. M., Aprea. E., Enderizzi. I., Betta. E., Luisa Dematte. M., Charles. M., Bergamaschi. M., Costa. F., Biasioli. F., Corelli Grappadelli. L., Gasperi. F. (2014). A combined sensory-instrumental tool for apple quality evaluation. *Postharvest Biology and Technology* 96:135-144.

Mao. J., Yu. Y., Rao. X., Wang. J. (2016). Firmness prediction and modeling by optimizing acoustic device for watermelons. Journal of Food Engineering 168 : 1-6.

Muttil, N., Lee, J.H., (2005). Genetic programming for analysis and real-time prediction of coastal algal blooms. *Ecol. Model*. 189 (3), 363–376.

Nadafzadeh, M. Abdanan Mehdizadeh,S., Soltanikazemi, M. (2018). Development of computer vision system to predict peroxidase and polyphenol oxidase enzymes to evaluate the process of banana peel browing using genetic programming modeling. *Scientia Horticulturae*, 231, 201-209.

Naganur HG, Sannakki SS, Rajpurohit VS, Arunkumar R, (2012). Fruits sorting and grading using fuzzy logic. *Int JAdv Res Comput Eng Technol* 1 (6): 117-122.

Orenes-Piñero, E., García-Carmona, F., Sánchez-Ferrer, A., (2006). Latent polyphenol oxidase from quince fruit pulp (*Cydonia oblonga*): purification, activation and some properties. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86(13), pp.2172-2178.

Santosa W. D., Kholidi F. (2010). The Use of Clay as Potassium Permanganate Carrier to Delay the Ripening of Raja Bulu Banana. *Journal. Horticulture*. Indonesia , 1(2):89-96.

Schotte, S., De Belie, N., De Baerdemaeker, J., (1999). Acoustic impulse-response technique for evaluation and modelling of firmness of tomato fruit. *Postharvest Biology and Technology* 17 ,105–115.

Shmulevich, I., N. Galili, M. S. Howarth. (2003). Nondestructive dynamic testing of apples for firmness evaluation. *Postharvest Biology and Technology* 29: 2287-299.

Singh, Krishna K., B. Sreenivasula Reddy. (2006) "Post-harvest physico-mechanical properties of orange peel and fruit." *Journal of food engineering*. 73.2 112-120.

Tamure, C., Teryaki, O, (2012), Irradiation alone or combined with other alternative treatment to control postharvest diseases. *African Journal of Agricultural Research*, 8: 421-434.

Thendral.R, Suhasini.A, (2017). Automated skin defect identification system for orange fruit grading based on genetic algorithm. *Current Sci* 112 (8): 1704-1711.

Xiaobo, Z., Jiewen, Z., Yanxiao, L., (2007). Apple color grading based on organization feature parameters. Pattern Recognit. Lett. 28 (15), 2046–2053.

Zhao, J.W., Zou, X.B., Pan, Y.F., Liu, S.P., (2004). Research on method of apples odorant recognition based on GA neural network. J. Jiangsu Univ. *Sci. Technol*. 25 (1), 1–4.

Iranian Food Science and Technology
Research Journal
Vol. 16, No. 5, Dec- Jan 2021, p. 655-667

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد 16، شماره 5، آذر - دی 1399، ص. 667-655

Development of predictive model to determine Quince fruit firmness using genetic programming and Neural Network during storage

S.Naziri[1], S. Abdanan Mehdizadeh[2*], M. Heydari[3]

Received: 2019.09.03
Accepted: 2019.10.26

Introduction: Texture represents one of the four principal factors defining food/fruit quality, together with appearance, flavour and nutritional properties (Bourne, 2002), and plays a key role in consumer acceptability and recognition of quince. Textural characteristics of quinces defined by “crispness”, “juiciness”, “hardness”,“firmness” and “mealiness” are often key drivers of consumer preference. Many non-destructive methods, including image analysis, spectroscopy, ultrasound and sound techniques, have been developed to diagnose internal and external defects in fruits and vegetables. Cheng and Haugh (1994) used a frequency of 250-kHz, rather than 1-MHz, to detect hollow heart. They were not able to transmit successfully the ultrasound wave through the whole tuber using 1-MHz transducers but found the 250-kHz transducers to be practical for a transmission path length of up to 89.7 mm. In a research an acoustic setup was developed to simultaneously detect the resonant frequencies from equator and from calyx shoulder of pear. The researchers proposed index based on these two frequencies was used for firmness evaluation of non-spherical pear; Compared with two types of single frequency-based indices, the firmness sensitivity of the dual-frequency index is mostly close to that of MT penetration test. The firmness index can classify pears with a high total accuracy (93.4%), making it suitable for nondestructive detection of firmness of differently shaped pears (Zhang et al., 2018). The goal of this study was to develop a nondestructive method based on acoustic impulse response of quince fruit using genetic programming and artificial neural network during storage.

Materials and Methods: In the experiment 120 quince fruits (*Cydonia oblonga*) were harvested from a field near Isfahan 181 days after full flowering of the trees. For each cultivar, only samples of similar size and without visible external damage were chosen. The samples were packed in sterile nylon bags and stored at 4°C. Non-destructive test (acoustic response) as well as destructive test (chemical measurement and penetration test) were performed every 15 days for 4 months (Akbari Bisheh et al., 2014). Total soluble solids (TSS) were determined by a hand refractometer device (model: MT03 Japan) and expressed as °Brix. Ascorbic acid of the juice was measured by titration with copper sulfate and potassium iodide based on the Barakat et al. (1973) procedure. Titratable acidity was measured according to the AOAC method. To determine the total phenol content of juice, the Waterhouse method (2000) was used. Determination of the pH of the fruit extract using a pH meter (Portable Model P-755, Japan). Physical attributes of the samples including volume as well as major, minor, intermittent diameters and mass were calculated using the relations proposed by Stroshine and Hammand (1994). Penetration test was conducted by the material test machine (SANTAM, STM-20 model, Iran).

In order to analyze the response sound signal of quince in time and frequency domain, a system equipped with a sample holder with foam rubber covered surface, an impact mechanism, a microphone and an electronic circuit was utilized. To record impact sound features a microphone was positioned next to the fruit and was hit at three speed level (0.3, 0.9 and 1.5 m/s). After recoding sound, five features (acoustic peak, maximum acoustic pressure, mean acoustic pressure and natural frequency) were extracted and used as inputs for models. In order to predict the stiffness, four methods of genetic programming, neural network and existing mathematical models (FI and SIQ-FT) were used. In order to carry out statistical analysis, analysis of variance (ANOVA) and Duncan's multiple range test at 5% probability level were performed according to the completely randomized design (CRD).

Results and discussion: In this study, Duncan's multiple range comparison test was used to investigate the significant difference between destructive and non-destructive parameters at 5% probability level. According to the results, acoustic peak, maximum acoustic pressure, mean acoustic pressure and natural frequency were decreased by increasing storage time. Statistical analysis of the destructive tests also showed a decreasing trend at the 5% level. In several papers, two

1. Graduate Student of Mechanics of Biosystems Engineering Department, Faculty of Agricultural Engineering and Rural Development, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Iran
2. Assistant Professor of Mechanics of Biosystems Engineering Department, Faculty of Agricultural Engineering and Rural Development, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Iran
3. Associate Professor of Horticultural Science Department, Faculty of Agriculture, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Iran.
(*Corresponding author: saman.abdanan@gmail.com)

mathematical equations have been used to obtain the relationship between the mass resonance frequency and the sound of impact. In this study, genetic programming and neural network modeling were used to compare the results of these relationships. The regression coefficients between the actual and the predicted values for the resonance-mass relation and the effect of the sound from the collision were R^2= 0.601 and R^2= 0.754, respectively. Also, the regression values obtained from genetic programming and neural network modeling were R^2= 0.9567 and R^2 = 0.933, respectively. In a research, the overall R^2 value amounts for stiffness prediction was reported to be 0.79 (Schotte *et al*., 1999). Abbaszadeh *et al*. (2013) evaluated watermelons texture using their vibration responses. They declared their proposed method could predict textural acceptability of watermelons with determination coefficients 0.99. According to the obtained values, the best methods for stiffness prediction were genetic programming and f neural network methods, respectively.

Keywords: Genetic Programming, Neural Network, Quince fruit, Storage, Stiffness.